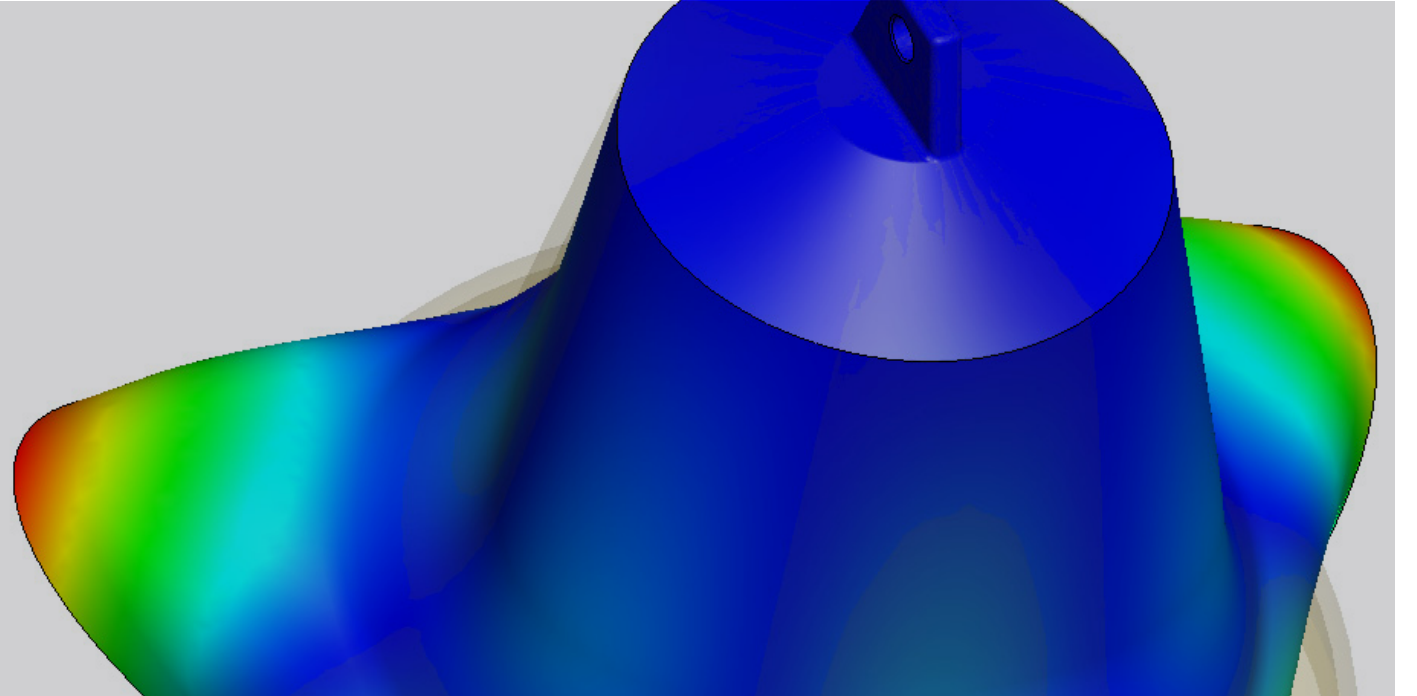


GERÇEK HAYATA UYGUN TİTREŞİM ANALİZİYLE TASARIMI BASİTLEŞTİRME

Genel Bakış

Mekanik tasarımcıları tasarımı inşa etme, test etme, değiştirme, tekrar test etme şeklindeki geleneksel yaklaşıma zamandan ve maliyetten tasarruf sağlayan bir alternatif olarak sık sık titreşim analizini kullanır. Bir bilgisayar modelinde dinamik bir yüke verilen tepkiyi etkileyen faktörleri belirleyerek, tasarımcılar tek bir metal kesimi dahi yapmadan önce doğru iyileştirmeleri yapmak için ihtiyaç duyulan verileri elde ederler. Gereken fiziki prototip sayısını büyük ölçüde azaltmaya ek olarak, titreşim analizi ilişkili maliyetleri de büyük ölçüde azaltır.



Dinamik analize giriş

Dinamik analiz mekanik tasarımcılarının daha iyi ürünler yaratmasına yardımcı olabilir. Bir ürünü tasarlarken sık sık çalışmayla ilgili soruları ele almanız gerekir, örneğin:

- Bir fikstürdeki veya freze makinesindeki titreşim takımda ne kadar hataya neden olur?
- Yeni bir tenis raketi veya golf sopasından hissedilen titreşim azaltılarak oyuncuların daha az yorulması sağlanabilir mi?
- Elektrik malzemelerin nakli sırasında yol gürültüsünden kaynaklanan titreşim nedeniyle bileşenler gevşer mi?
- Ağırlık ve maliyet olarak aşırıya kaçmadan bir otomotiv motorunun motor sabitleme elemanları ne kadar kalın olmalıdır?
- Petrol kuyusu açma makinesinin, titreşerek dağılmadan sistemi güvenli bir çalışma aralığında tutan fener mili hızını tahmin etmek mümkün mü?
- Sistemlerin veya yapıların MIL Spec, Telcordia GR-63 veya Tekdüzen Bina Yönetmeliği (UBC) titreşim veya sismik gerekliliklerine uyması gerekiyor mu?

Geçmişte bu tür soruları elle yaptığınız hesaplarla ve birkaç inşa etme/test etme/tekrar tasarlama döngüsüyle yanıtlamış olabilirsiniz. Ancak şimdi, dinamik analiz kullanarak ilk tasarım aşamasından tahmin yürütmeyi çıkarabilirsiniz.

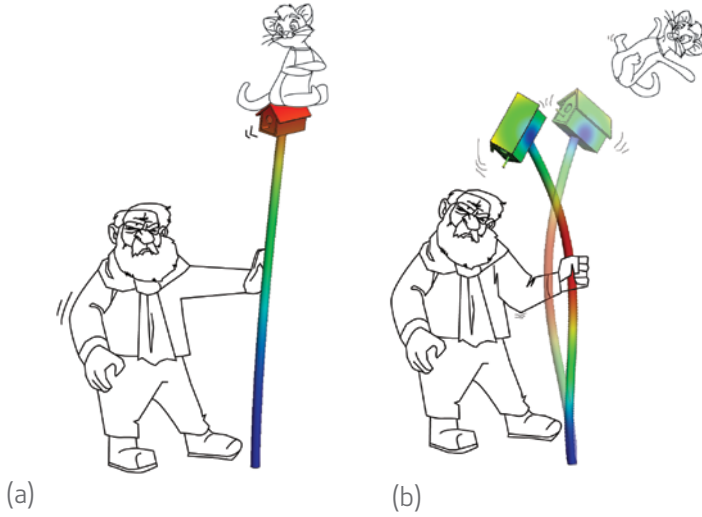
Bir bileşen veya montaj değişen veya dinamik bir yüke maruz kaldığında, rahatsız edici ile kritik düzeyde tehlikeli arasında değişen bir şekilde tepki verebilir veya titreşebilir. Şu üç gerçek örneği dikkate alın: Kötü tasarlanmış bir kablosuz matkabı satın alan tüketiciler ürünü iade etmeseler de arkadaşlarına satın almamalarını söyleyebilirler. Bir test sürüşü sırasında, yolun neden olduğu rahatsız edici titreşimler potansiyel bir alıcının hoşuna gitmeyebilir ve satışın kaçırılmasına neden olabilir. Hassas elektronik cihazların mekanik muhafazasında veya kaynak yerlerinde nakliye sırasındaki titreşimlerin neden olduğu stres önemli bozulmalara neden olabilir.

Titreşim analizinin ana hedefi zaman içinde değişen girdilerin fiili parça hatası veya kullanıcı algısı bakımından zaman içinde kabul edilemez bir tepki oluşturup oluşturmayacağını belirlemektir. Bu ayrıntılı bilgi ile, bir prototip veya gerçek bir yapı inşa etmeden önce tasarımınızı geliştirebilirsiniz. Takip eden sayfalarda titreşimleri incelemeye yönelik birkaç yaklaşım ve bunların tasarımınızın başarısı üzerindeki etkisi ele alınmıştır.

Titreşim analizinin ana hedefi zaman içinde değişen girdilerin fiili parça hatası veya kullanıcı algısı bakımından zaman içinde kabul edilemez bir tepki oluşturup oluşturmayacağını belirlemektir.

Üç titreşim türünün tanımı

Titreşimle ilgili temel kavramları ve bunu analiz etmek için kullanılan teknikleri sergileyen bir örnek düşünün. Komşunun kedisinin bedava yiyecek için direk üzerinde yerleştirdiğiniz kuş evinin üstüne tünemesini istemiyorsunuz. Direği biraz iterseniz, kuş evinin hızı ve yer değiştirmesi itme hareketinin girdi hızı ve büyüklüğü ile doğrusal orantılı olacaktır (Şekil 1a). Ancak, direği aynı büyüklükte girdi ile ancak daha yüksek hızla sarsmaya başlarsanız, sonunda direğin en üstünde "kırbaç ucu" etkisine neden olursunuz ve kediyi kaçırma hedefinize ulaşırsanız (Şekil 1b).



Şekil 1: Yavaş sarsılan direk (a) ile hızlı girdinin neden olduğu kırbaç hareketini (b) karşılaştırma

Bu kırbaç etkisi sarsma hızınızın kuş evi sisteminde rezonansı uyardığını göstermektedir: çıktı (a) girdiyle karşılaştırıldığında artık orantısız şekilde yüksektir (b) ve bu da kediyi hayal kırıklığına uğratar.

Bu ileri ve geri hareket titreşim sırasında neler olduğunu basit bir şekilde göstermektedir. Zamanın değiştiği bir sistemde rezonansı uyaran girdi dramatik, hatta yıkıcı bir tepkiye neden olabilir. Yine de, rezonansı uyarmanın farklı bir hızdaki benzer bir girdi herhangi bir endişeye yol açmaz. Bu kavramlar karmaşıklığı ne olursa olsun her sistem için geçerlidir. Sonuç olarak, titreşim analizi titremenin ne zaman ürününüzün başka yerlerinde küçük veya yıkıcı tepkilere neden olacağını anlamanızı sağlar.

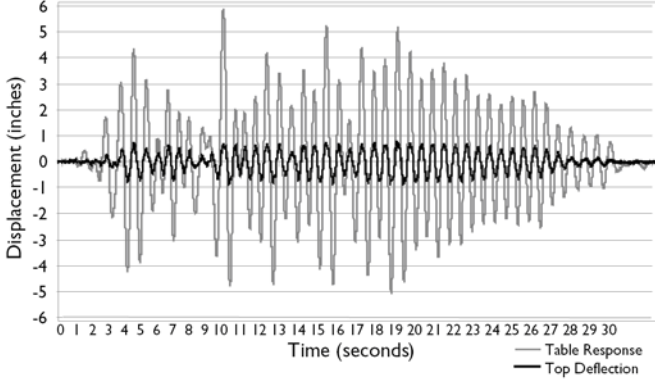
Titreşim analizi titremenin ne zaman ürününüzün başka yerlerinde küçük veya yıkıcı tepkilere neden olacağını anlamanızı sağlar.

Esas olarak tahrik girdisinin doğası veya biçimi dikkate alındığında titreşim üç yolla tanımlanabilir:

1. Fiziksel alanda veya zaman alanında, fiili olarak değişen hareketi gerçek zamanlı olarak görmeyi bekleyebilirsiniz. Zaman alanındaki bir analiz genellikle geçici analiz olarak adlandırılır. Yukarıdaki kuş evi örneğinde, dakikadaki itme sıklığını sayabilir ve itmenin büyüklüğünü ölçebilirsiniz ve sonra da bunları bir analize girdi olarak verebilirsiniz. Analizde girdi hızı arttıkça uç hızında ve yer değiştirmede bahçede gördüğünüz ve ölçtüğünüzle aynı kazancı görürsünüz. Bir diğer çıktı, sarsma durduğunda doğal sönümlenme nedeniyle direk hareketsiz hale gelinceye kadar geçen süre veya oluşan salınım sayısı olabilir.

Bir dinamik olayı tanımlayan geçici yöntemde, gerçek zamanlı bir olayda olabileceği gibi herhangi bir parametre (hız, büyüklük, yön veya girdilerin yönü gibi) değişebilir. Bu gibi olayların bilgisayar analizi, sürekli bir tepki görüntülemek yerine bu çıktıları belirli zaman aralıklarıyla bildirmesi gerekir; dijital/analog ikilemi. Süre arttıkça, bu sorunların çözümü daha uzun sürer ve daha fazla kaynak tüketir. Tüm değişiklikleri ve ayrıca bu değişikliklere verilen tepkileri yakalamak için yeterince küçük zaman adımları belirtmeniz gerekir. Gereken zaman adımı sayısı belirlemede kullanılan genel bir kural, yanıtta her en uç nokta için beştir. Aşağıda Şekil 2 ile gösterildiği gibi, bir olayın geçici analizinde bu sayı hızlı bir şekilde büyüyebilir.

Bir dinamik olayı tanımlayan geçici yöntemde, gerçek zamanlı bir olayda olabileceği gibi herhangi bir parametre (hız, büyüklük, yön veya girdilerin yönü gibi) değişebilir.



Şekil 2: Sarsma tablası testi için geçici girdi

2. Frekans alanından yaklaşımda, belirli bir frekansta çıktı büyüklüğüne karşılık girdiyi ele alırız. Doğal olarak tüm girdilerin döngüsel veya sinüs eğrisi şeklinde olduğunu kabul etmeniz ve bu frekansta sabit bir büyüklük elde etmeniz gerekir. Bu basitleştirilmiş çıktı, girdi büyüklük, yön veya girdi sayısı bakımından değil yalnızca hız bakımından değiştiğinde en etkilidir. Bu yöntem, bir sarsma tablasında yapılabileceği gibi, genellikle çalışma aralığında girdi frekansını değiştirmek (veya taramak) ve mümkün olan maksimum tepkiyi belirlemek için kullanılır (Şekil 3).



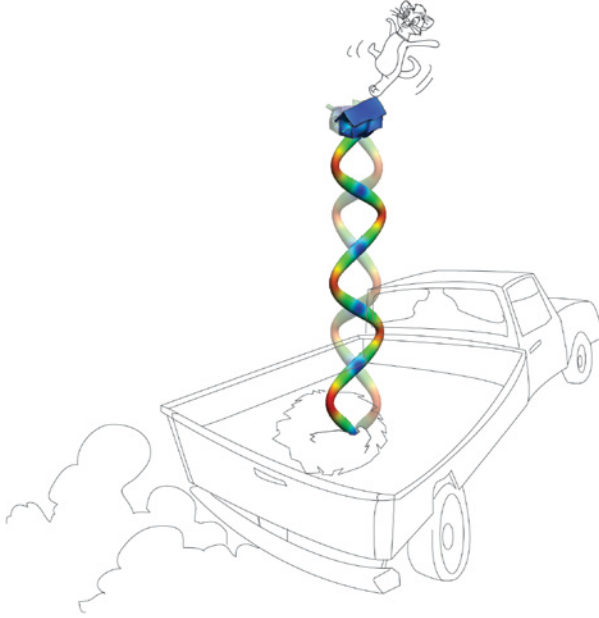
Şekil 3: Kuş evi, kedi kaçırma sorununa değişken frekans uygulanmış otomatik sarsma aygıtı

Girdi basit bir en uç nokta kuvveti, yer değiştirme veya tek bir frekansta ivmelenme ya da girdinin frekansa göre nasıl değiştiğini tanımlayan karmaşık bir fonksiyon veya tabla olabilir.

3. Titreşimi tanımlamanın üçüncü yolu istatistik ve olasılık alanını ilgilendirir. Ortak kullanım genellikle yanıtıcı şekilde bu yaklaşımı rastgele titreşimler olarak adlandırır. Rastgele titreşim etüdü gerektiren durumlar, girdinin hızının veya frekansının tekrarlanabilir olmadığı ancak tahmin edilebilir bir ortalama yüke sahip olduğu durumlardır. Sonuç olarak, belirli bir frekansta makul miktarda bir girdi enerjisi sağlamak için, verilen bir zaman aralığında matematiksel olarak örnek alınabilecek bir girdi derlemeniz gerekir.

Bir güç spektral yoğunluğu (PSD) eğrisinde veya tablosunda ilgilendiğimiz tüm frekanslarda bu tahmin edilen çeşitli enerjileri gösterebiliriz. Karşılaştırmalı bir yaklaşım kullanma, bu sorunların çıktısını kullanmanın en iyi yoludur çünkü bu girdilerdeki belirli bir değişikliğe karşılık sistemde oluşan stres ve yer değiştirmedeki artmayı veya azalmayı görebilirsiniz. Diğer iki yöntemde göre daha yakın bir yaklaşım olduğu açıkça görülse de, PSD eğrisi veya tablosu depremlerde veya yol gürültüsünde görülen değişken girdilere bir sistemin verdiği tepkileri tanımlamanın yegane yoludur (Şekil 4).

.....
Bir güç spektral yoğunluğu (PSD) eğrisinde veya tablosunda ilgilendiğimiz tüm frekanslarda bu tahmin edilen çeşitli enerjileri gösterebiliriz.



Şekil 4: Kuş evi, kedi kaçırma sorununa değişken frekans uygulanmış otomatik sarsma aygıtı

Titreşim analizinin temellerini tanımlama

Statik analize karşılık dinamik analiz

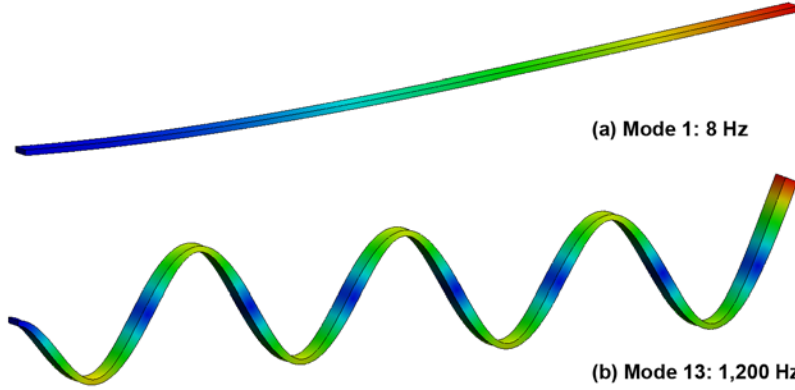
Statik etütler yüklerin sabit olduğunu veya tam değerlerine ulaşınca kadar çok yavaş bir şekilde uygulandığını ve ondan sonra zamana göre sabit kaldığını varsayar. Bu varsayım nedeniyle, uyarılan sistemin hızı ve ivmesi dahil olmak üzere tüm eylemsizlik etkilerinin ihmal edilebilir olduğu kabul edilmelidir. Bu nedenle statik etütler sabit stresler ve yer değiştirmeler üretir.

Ancak pratikte çoğu durumda yükler yavaşça uygulanmazlar ya da zamana veya frekansa göre değişirler. Eylemsizlik ve sönümlenme önemli hale gelir ve anlamlı bir analiz dinamik etüt kullanılmasını gerektirir. Sıklıkla yanlış kullanılan bir yöntem, sismik bir olayda veya darbe olayında bir yapının karşılaşılabileceği sapmayı analiz etmek için statik bir kuvvet uygulamaktır. Bu olaylar, yalnızca bir noktada veya her bileşenin ağırlık merkezinde değil, sistemin her yerindeki kütlelerin tamamı üzerinde etkili olan hızlanma ve yavaşlamalar içerir. Ek olarak, sismik veya sarsma tablası yüklerinde, sistem ilk uygulamaya tepki verirken uygulanan yük ters çevrilirse, dinamik bir analiz olmadan bileşenlerde başlatılmış ivmeleri tahmin etmek çok zor olabilir. Sonuç olarak, statik basitleştirme çok yanıltıcı olabilir. Korunumlu olup olmayacağı tutarlı bir şekilde belirlenemeyeceğinden, statik basitleştirme çoğu durumda uygun değildir.

Genel modal analiz

Tüm dinamik çözümlerin yapı taşları sistemin doğal frekansları veya modlarıdır. Her gövde yükten bağımsız olarak rezonans frekanslarına veya doğal frekanslara sahiptir. Bu fenomen bir çarpmadan veya hızlı olarak kaldırılan bir yer değiştirme kuvvetinden sonra sistemin serbest titreşimi olarak görülür. Hertz (saniyedeki devir) olarak tanımlanan alt doğal frekanslar elde etmek için en az miktarda enerji gerektiren bozulmuş şekiller veya mod şekilleridir. Bir ölçü çubuğuna benzeyen uzun ve ince konsol (Şekil 5) için, (a)'daki parçayı (en düşük doğal frekans) saptırmak için (b)'ye (daha yüksek doğal frekans) göre çok daha az enerji gerektiği açıktır.

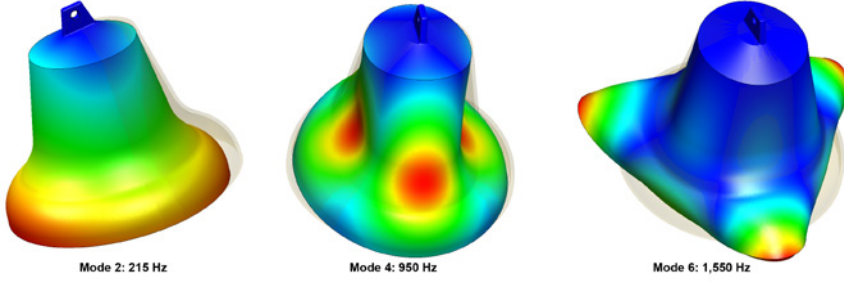
Tüm dinamik çözümlerin yapı taşları sistemin doğal frekansları veya modlarıdır.



Şekil 5: İnce bir kirişteki iki doğal frekans

Sonuç olarak, tasarımcılar genellikle yalnızca ilk birkaç modla ilgilenir, çünkü en çok aksiyon bunlarda oluşur. Daha yüksek frekanslarda rezonans oluştuğunda, tepkinin amplifikasyonu tipik olarak düşük frekanslardakilerden daha küçüktür. Ancak, küçük streslerin yorulmayla hataya neden olabileceği uzun vadeli titreşimde, yüksek frekanslardaki tepki hala kayda değer ölçüde olabilir ve bu nedenle incelenmesi gerekir.

Çan hareketi modlarla ilgili büyüleyici bir etüt yapmayı sağlar. Çalan bir çanda, farklı tonlarda sesler çıktıkça kenarı abartılı bir hareketle dalgalanırken, yalpalama efektini görselleştirebilirsiniz. Geometri, döküm hassasiyeti ve malzemeye bağlı olarak sesler değişir ve farklı sürelerle devam eder. Toplam ses, aşağıdaki Şekil 6'da görüldüğü gibi, her farklı hareket deseni (mod) tarafından eş zamanlı olarak üretilen tonların bir derlemesidir.



.....
Dinamik bir çözüm gerekip gerekmediğini belirleyen kritik bir faktör, girdinin frekansı veya darbe süresidir.

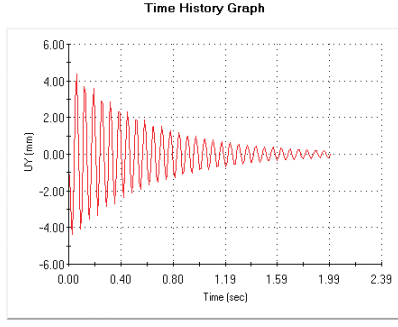
Şekil 6: Çalan bir çanın mod şekilleri. Gerçekteki ton her bir hareketin sonucu olan tonların üst üste gelmiş halidir.

Dinamik bir çözüm gerekip gerekmediğini belirleyen kritik bir faktör, girdinin frekansı veya darbe süresidir. Genel olarak, bir girdinin frekansı bileşenin veya sistemin en düşük doğal frekansına benzerse veya daha büyükse, tasarımcının bir dinamik etüt gerçekleştirmesi gerekir. Dinamik girdinin vurgulu olduğu durumlarda, analiz vurgu süresini doğal frekansların periyoduyla karşılaştırmalıdır ki bunların mod şekli söz konusu vurgu tarafından uyarılabilir.

Bir frekansın periyodu frekansın tersidir; örneğin, 10 hertz bir dalga biçimi için periyot 1/10 veya 0,1 saniyedir. Atımın süresi ilgili bir doğal frekansın periyoduna benziyorsa, bir dinamik analiz gerçekleştirmeyi düşünün.

Zaman tabanlı analiz

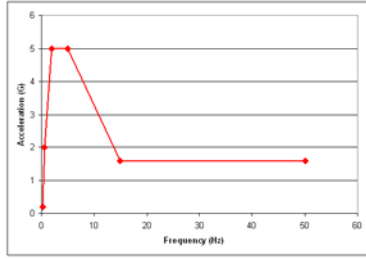
Zaman geçmiş (geçici) analiz genellikle kısa süreli bir atım için streslerin veya sapmaların büyüklüğünü görmek için kullanılır (Şekil 7). Bu bir rezonans frekansını uyarırsa, sonuçta oluşan stres veya sapma eşit büyüklükteki bir statik yükün oluşturduğu stres veya sapmadan büyük olabilir. Ancak gerçekteki süre de kritik öneme sahiptir. Aynı yük çok daha çabuk uygulanır ve bırakılırsa, sistem tepki verecek zaman bulamadan gelip gidebilir ve bu durumda hiçbir sorun oluşmaz. Benzer şekilde, yük çok daha yavaş bir hızla uygulanırsa, tepki de statik bir durumdakine yaklaşır ve yine tepki kayda değer olmayabilir. Geçici analiz üç durumu da aydınlatır.



Şekil 7: Geçici bir yük nedeniyle oluşan ilk yer değiştirme ile, yapıdaki tek bir noktadaki yer değiştirmenin zamana karşı çizilen örnek grafiği

Harmonik veya frekans tepkisi analizi

Bir veya daha fazla doğal frekanstaki uygulanan kuvvet zaman içinde devam ettiğinde, bir yapının analizinde harmonik analiz önem kazanır (Şekil 8).



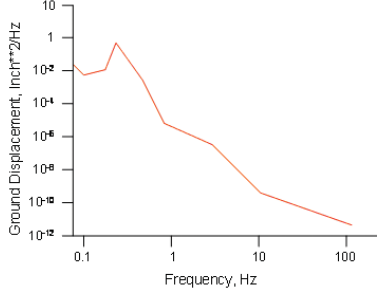
Şekil 8: Elektronik testi için ivme - frekans spektrumu

Sürekli enerji girişinin neden olduğu felaketle ilgili klasik örnek, Puget Sound, Washington üzerindeki Tacoma Narrows asma köprüsünün 1940 yılındaki açılışından dört ay sonra yıkılmasıdır. Maliyeti düşürmek için, orijinal tasarım değiştirilerek köprü zemininin rijitlik miktarı dört katından fazla azaltılmıştı. Bir sabah erken saatlerde hızı saatte 35 - 46 mili (56 - 74 km) bulan rüzgar, köprüde yukarı ve aşağı yer değiştirme miktarı üç ila beş ft (1 - 1,6 m) olan bir dalgalanma hareketi başlattı. Birkaç saatte rüzgarın etkisi yön değiştirdi ve böylece bir burkulma modu tetiklendi. Bunlar daha da büyüdü ve beton yol zemini parçalanmaya başladı. Sonunda bir bölümünün bağlantıları tamamen koptu ve büyük parçalar nehre düştü. Yetkililer saat 10'da köprüyü kapattığından hiç kimse yaralanmadı.

Rastgele titreşim girişleri sınırlı bir süre devam eden ancak ayrıntıları zamana bağlı olmayan bir olaydan türetilir.

Rastgele titreşim analizi

Rastgele titreşim girişleri sınırlı bir süre devam eden ancak ayrıntıları zamana bağlı olmayan bir olaydan türetilir (Şekil 9). Değerlendirilen zaman aralığı ne kadar uzun olursa, frekans alanındaki istatistiksel örnekleme o kadar iyi olur. Dinamik analize sağlanan sonuç verileri esas olarak girdi olayı tarafından uyarılan tüm frekanslardaki toplam enerjinin özeti. Yol yüzeyi geometrisindeki varyasyonlar veya depremdeki rastgele kuvvetler bu gibi girdilere örnek olarak verilebilir.



Şekil 9: Hafriyat sahası yakınındaki zemin yer değiştirmesinin PSD gösterimi

Dinamik analiz gerçekleştirme yaklaşımları

Makine mühendislerinin çalıştıkları mühendislik sorunu için, varsa üç olası doğrusal dinamik yazılım analizinden (zaman geçmişi (geçiş) analizi, harmonik analiz veya rastgele titreşim analizi) hangilerinin uygun olduğunu belirlemeleri gerekir. Daha önce belirtildiği gibi, etüt gereksinimlerinin en iyi göstergesi sahip olduğunuz girdi verilerinin biçimidir. Üçü için de önerilen yazılım sıralaması şöyledir: uygun bir CAD modeli oluşturun, ilgili rezonans frekanslarını belirlemek için bir frekans analizi hazırlayın ve gerçekleştirin ve sonra seçilen dinamik analizi ayarlayın ve çalıştırın.

Uygun bir CAD modeli oluşturma

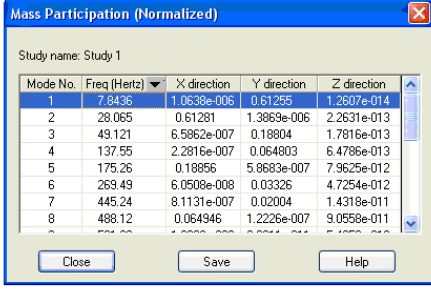
Dinamik analizler tipik olarak zaman alır ve çok bellek kullanır. Yalnızca bu iki nedenden dolayı basitleştirilmiş ve etkili bir CAD modeli oluşturma genellikle işe yarar. Model tipi seçimiyle (kiriş/çizgi modelleri, kabuk/yüzey modelleri veya katı modeller) ilgili genel kuralların dikkate alınması bu etütler için daha da önemlidir. Stres sonuçları için CAD ayrıntısı kritik düzeyde önemlidir; buna karşılık yer değiştirme veya ivme verileri için daha basit bir CAD modeli yeterli olabilir. Geometrinizi oluştururken, farklı etütler için göreceli yaklaşma düzeyini de aklınızda tutun. Bir geçici analiz çok az filtreleme veya basitleştirme uygulanmış "gerçek" girdi kullandığından, ayrıntılı bir katı modelin büyük kaynak gereksinimleri kendini telafi edebilir. Diğer yandan, harmonik analiz basitleştirilmiş veri kümeleri kullandığından ve rastgele titreşim etütleri orijinal zaman tabanlı girdileri daha da basitleştirdiğinden, yüksek ayrıntıya sahip CAD tanımlarının değeri büyük bir hızla düşmeye başlar.

.....
Dinamik analizler tipik olarak zaman alır ve çok bellek kullanır. Yalnızca bu iki nedenden dolayı basitleştirilmiş ve etkili bir CAD modeli oluşturma genellikle işe yarar.

Frekans analizini gerçekleştirme

Dinamik analiz tipik olarak bir sistemdeki doğal frekansları temel alır. Zamanın değiştiği bir tepkinin daha ayrıntılı bir etüdüne başlamadan önce, bu frekansları belirlemeniz (yani, modal tepkiyi belirlemeniz) gerekir. Çoğu yazılım analiz aracında, bu tepkiyi dinamik analizi yapmadan önce bulabilirsiniz ya da olası üç dinamik analiz sırasından birinde ilk adımı gerçekleştirmeden önce otomatik olarak bunun yapılmasını sağlayabilirsiniz.

Frekans etüdünün çıktısı (Şekil 10) modal şekiller, modal frekanslar ve kütle katılım faktörleri içerir. Bu son çıktı, her bir hesaplanmış modun bir dinamik tepkiye katılmasını ne kadar çok bekleyebileceğinizin bir ölçüsüdür.



Mode No.	Freq (Hertz)	X direction	Y direction	Z direction
1	7.8436	1.0538e-006	0.61255	1.2607e-014
2	28.065	0.61261	1.3869e-006	2.2631e-013
3	49.121	6.5962e-007	0.18804	1.7816e-013
4	137.55	2.2816e-007	0.064803	6.4786e-013
5	175.26	0.18856	5.8683e-007	7.9625e-012
6	269.49	6.0508e-008	0.03326	4.7254e-012
7	445.24	8.1131e-007	0.02004	1.4318e-011
8	488.12	0.064946	1.2226e-007	9.0558e-011

Şekil 10: Kütle katılım faktörleri bulunan tipik modal frekans listesi

Frekans sonuçlarını gözden geçirme

Bir sistemin ilk dinamik analizi için dinamik analiz gerekip gerekmediğinde karar vermeden önce her zaman ilk olarak modal tepkiyi bulmanız ve bunu gözden geçirmeniz gerekir; gerekliyse, hangi dinamik analizi kullanacağınıza karar vermeniz gerekir.

İlgi veya çalışma aralığında hiçbir rezonans frekansı yoksa, muhtemelen bir dinamik analiz yapmanız gerekmeyecektir. Frekanslar çalışma girdileri aralığında olsa bile, bunların uygulanan yüklerin gerçekten uyardığı şekilleri temsil ettiğinden emin olmanız gerekir. Örneğin, yatay bir yük bir rezonans frekansını uyarabilir, ancak bu frekansta mod şekli dikey olabilir. Bu durumda, yükün dinamik bileşeninin sonuçlar üzerindeki etkisi çok küçük olacaktır.

Çalışma frekanslarının birkaç doğal frekans ve mod şekilleri uyarma olasılığı varsa, atacağınız ilk adım hesaplanan doğal frekansları çalışma frekanslarının üzerine iterek tasarımı değiştirmek olmalıdır. Bu göreve modal kaçınma adı verilir. Yaygın kullanılan teknikler arasında ağırlığı azaltma veya yeniden dağıtma, rijitliği artıran unsurlar ekleme, hatta malzeme değişikliği bulunur.

Çalışma hızı aralığının tamamı ilk doğal frekansın altında olacak şekilde tasarımı değiştiremiyorsanız, alt modların daha da aşağı itilmesi genellikle kabul edilebilirdir. Düşük hızlarda uyarım düşük enerjilere karşılık gelir, bu nedenle sonuçta oluşan titreşim en aza indirilir. Birçok tasarımcı bunun etkilerini bir makine aksamının çalışma hızına ulaşırken "sarsılması" ve fark edilebilen tüm titreşimlerin çalışma hızlarında dağılması şeklinde görmüştür. Kabul edilebilir şekilde doğal frekanslardan kaçınacak biçimde tasarımınızı ayarlayamıyorsanız, muhtemelen bir dinamik analiz gerçekleştirmeniz gerekmektedir.

Çalışma frekanslarının birkaç doğal frekans ve mod şekilleri uyarma olasılığı varsa, atacağınız ilk adım hesaplanan doğal frekansları çalışma frekanslarının üzerine iterek tasarımı değiştirmek olmalıdır.

Dinamik analizi hazırlama

Modal çözüm sonraki dinamik etüdün yapı taşı olduğundan, sistemi karakterize eden yeterli sayıda mod belirlendiğinden emin olmanız gerekir. En azından, maksimum çalışma frekansınızın en az iki katı olan bir doğal frekans içerecek şekilde yeterli sayıda mod hesaplamalısınız. Örneğin, girdi frekansını sıfır ile 50 hertz aralığındaysa, doğal frekans listenizde 100 hertz'i içermek üzere yeterli sayıda mod bulunmalıdır.

Bu genel kurala ek olarak, belirtilen girdi yönü için kütle katılım faktörlerini de gözden geçirmelisiniz. Dahil edilen kütle katılımı faktörlerinin toplamı en az 0,8 (veya yüzde 80) olmalıdır. Bu, maksimum girdi hızınızın iki katından fazla sayıda mod eklemenizi gerektirebilir veya daha az sayıda mod eklemenizi öneriyor olabilir. Ancak, eklenen mod sayısını maksimum girdi frekansının iki katının altına kadar düşürmeyin. Bunu yapmanız çözümün o frekanstaki tepkileri göz ardı etmesine neden olabilir ve bu da düşük frekanslı sonuçlarla birleşerek çıktı kabul edilebilir aralığın ötesine itebilir.

Dinamik analiz için gereken girdiler yük büyüklüğünü, yönü, ilgili noktayı veya alanı, sönümlendirmeyi ve frekans aralığını veya zaman aralığını içerir. Çıktı değerleri ile, stres, ivme ve yer değiştirme gibi parametreleri sisteminizin bilinen limitleriyle karşılaştırma olanağınız vardır. Bu arıza olasılığı olup olmadığını veya maliyetin düşürülüp düşürülemeyeceğini belirlemenizi sağlar.

Geçici analizde, yükleri ve sınırlamaları tıpkı bir statik analizde yapacağınız gibi uygulamalısınız, ancak farklı olarak yükler zaman içinde değişecek şekilde tanımlanmalıdır.

Harmonik analiz kullanırken, uygulanan yüklerle sistemi titreştirmeniz gerekir. Yükleriniz için, frekans değiştikçe bunların büyüklüğünü artıran veya azaltan bir tablo veya fonksiyon tanımlayabilirsiniz. Alternatif olarak, sisteminizi sınırlamalardan biri düzeyinde titreştirebilirsiniz (buna taban uyarımı adı verilir). Matematiksel olarak, bu sarsma tablası testine benzerdir.

Bir rastgele tepki analizinin hazırlanması harmonik analizi hazırlamaya benzese de, yük veya taban uyarımıyla ilişkili girdiler PSD'ye karşılık basit kuvvet, yer değiştirme, hız ve ivme cinsinden ifade edilir. Rastgele titreşim analizinin çıktısı tepkinin (yer değiştirmeler, hızlar, ivmeler ve stresler) RMS (karekök ortalaması) ve PSD değerlerini sağlar. Bu veriler gerçekte verilen bir frekansta beklenen tepkinin olası maksimum değerini temsil eder. Girdi bir istatistikî örnekleme olduğundan, çıktı daha hassas olamaz. Ancak bu, rastgele olaylarda güvenilir tasarım verileri almanın en etkili yoludur.

Dinamik analiz için gereken girdiler yük büyüklüğünü, yönü, ilgili noktayı veya alanı, sönümlendirmeyi ve frekans veya zaman aralığını içerir.

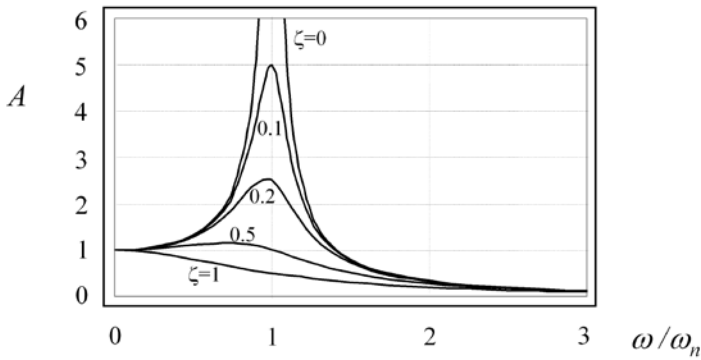
Sönümlenme

Bir modal sönümlenme faktörü olmadan bir dinamik analiz genellikle anlamsızdır.

Sönümlenme (ζ), titreşim hareketi nedeniyle sistemde kaybolan enerji miktarını temsil eder. Sönümlenme olmazsa uyarılan bir sistem sonsuza kadar titreşir.

Malzeme etkileri, sürtünme, gürültü ve sıvı etkileşimi gibi çevresel etkiler dahil olmak üzere birçok sönümlendirme kaynağı sönümlendirme faktörüne katkıda bulunur. Bu faktör genellikle hafif sönümlenmeli (tek çelik parça) sistemler için 0,01 ile yüksek sönümlenmeli sistemler için 0,15 aralığındadır. Sönümlenmeyle ilgili başka hiçbir veri yoksa, genellikle varsayılan olarak yüzde iki (0,02) seçilir. Gerçekçi tasarım seçimleri yapmak için geçerli bir sönümlenme faktörü olması çok önemlidir.

Şekil 11'de, çeşitli frekanslarda bir sistemin tipik kazancını (İvme, A) göstermektedir; burada, X değerinin 1 olması sistemin ilk doğal frekanstaki uyarımını temsil etmektedir (ω = uyarım frekansı; ω_n = doğal frekans). Sönümlenme faktörü (ζ) 0 olduğunda, dinamik amplifikasyonun (kazanç) teorik olarak sonsuz olduğunu görebilirsiniz. Sönümlenme arttıkça, kazanç büyük bir hızla azalır. Sonuçlara bakıldığında, bu vereceğiniz kararı büyük ölçüde etkileyebilir. Basit testler uygun sönümlenmeyi belirlemeye yardımcı olabilir.



Şekil 11: Sistem çeşitli sönümlenme faktörleriyle rezonansa olduğunda sistem kazancı

Doğrusal olmayan dinamik

Dinamik analizin dikkate alınması gereken bir diğer yönü, bu ana kadar anlatılan tüm analiz tekniklerinin, doğrusal bir analizin tüm kurallarının geçerli olduğu doğrusal etütler olmasıdır. Malzemenin kendisi doğrusal olmayan özellikler sergiliyorsa, bileşenler arasında doğrusal olmayan bir temas varsa veya sistem doğrusal olmayan bir çözüm gerektiren büyük yer değiştirmelere uğruyorsa doğrusal olmayan bir dinamik etüt gerçekleştirmeniz gerekir. Modal frekansları içeren temel matematiksel yaklaşım doğrusal olmayan davranışla iyi çalışmadığından, çoğu doğrusal olmayan dinamik çözüm fizik veya zaman alanında çalışır.

Malzeme etkileri, sürtünme, gürültü ve sıvı etkileşimi gibi çevresel etkiler dahil olmak üzere birçok sönümlendirme kaynağı sönümlendirme faktörüne katkıda bulunur.

Sonuç

Çoğu üründe hareketli parçalar olduğundan ve bunlar harici bir kuvvet tarafından hareket ettirildiğinden, nakliye sırasında dahi dinamik analiz her türlü tahmine dayalı analiz programının doğal bir uzantısıdır. Ürünün titreşime ve çarpışmaya tepkisiyle ilgili verileri erken almak şirketlerin aynı şekilde erken tasarım değişikliği kararları almalarını sağlar. Bu öngörü geliştirme prototipleri ihtiyacını azaltmakla kalmaz, prototipin ve test planının mümkün olduğunca etkili olmasını sağlar.

Örneğin, bir telekomünikasyon dolabı üreticisi, üç eksendeki sismik titreşimlerle ilgili bir prototipin inşası, nakliyesi ve testi için dört ila altı haftalık bir yatırım yaptı, ancak daha ilk testte bazı kaynakların başarısız olduğunu gördü. Sonraki test sonuçlarının tümünü atmak zorunda kaldılar. Maliyet önemli olmakla birlikte boşa giden proje zamanı daha da kritik öneme sahipti. Bunun sonucunda harmonik tepki analizini kullanarak sanal sarsma tablosu testi yapmaya başladılar ve olası hata noktalarını saptadılar. Bu veriler tasarımcıların bu gibi hataların oluşma ihtimalini azaltacak verimli ve ekonomik düzeltmeleri belirlemesini sağladı. Prototip testinin sıralamasını da arızaya yol açması muhtemel testi de en son yapılacak şekilde planladılar. Sonuç olarak, revize edilen yıkıcı test programı çok az zaman, para ve emek kaybıyla ya da hiç kayıp olmadan maksimum fayda sağladı.

Bu bültende anlatılan teknikleri genel tasarım analizi araçlarında bulabilirsiniz. Hatta bazıları Dassault Systèmes SolidWorks Corp. ürünü SolidWorks® 3B CAD yazılımı gibi popüler CAD sistemlerine entegre edilmiştir. Dinamik analiz daha iyi ürünler tasarlamaya yardım ettiğinden, kendi uygulamalarınız için bu teknolojiyi daha derinlemesine araştırmak isteyebilirsiniz. Aşağıda titreşim analiziyle ilgili en güvenilir üç çalışma listelenmiştir.

Referanslar:

Elements of Vibration Analysis; Leonard Meirovitch; McGraw-Hill, Inc., 1986.
Mechanical Vibrations (dördüncü basım); Singiresu S. Rao;
Pearson Education, Inc., 2005.
A Finite Element Dynamic Primer; D. Hitchings (ed.); NAFEMS 1992.

Merkez Ofis
Dassault Systèmes SolidWorks Corp.
175 Wyman Street
Waltham, MA 02451 USA
Telefon: +1-781-810-5011
E-posta: info@solidworks.com

Avrupa Merkez Ofisi
Telefon: +33-(0)4-13-10-80-20
E-posta: infoeurope@solidworks.com

Türkiye Ofisi
Telefon: +90 212 340 76 00
E-posta: Solidworks.TR-info@3ds.com

